

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 43 33 620 A 1

61 Int. Cl. 6:  
G 03 F 7/20  
G 02 B 3/00  
G 02 B 3/08

21 Aktenzeichen: P 43 33 620.5  
22 Anmeldetag: 15. 10. 93  
43 Offenlegungstag: 20. 4. 95

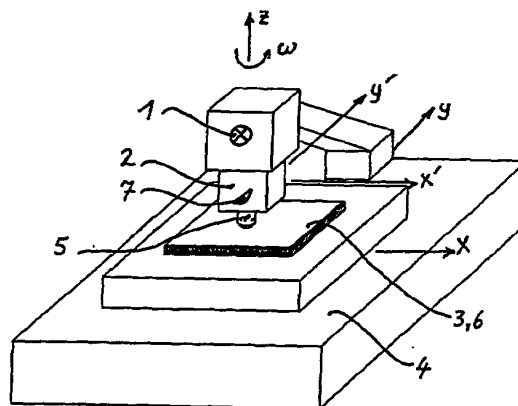
DE 43 33 620 A 1

71 Anmelder:  
JENOPTIK Technologie GmbH, 07745 Jena, DE

72 Erfinder:  
Kley, Ernst-Bernhard Dr., 07749 Jena, DE

54 Anordnung und Verfahren zur Erzeugung von Dosisprofilen für die Herstellung von Oberflächenprofilen

57 Die Erfindung betrifft eine Anordnung und ein Verfahren zur Herstellung von Dosisprofilen für die Herstellung von Oberflächenprofilen, insbesondere zur fotolithographischen Strukturierung von Objektoberflächen, vorzugsweise für Mikrolinsen.  
In Strahlrichtung sind nacheinander folgende Baugruppen angeordnet:  
mindestens eine Strahlenquelle (1), mindestens eine Einrichtung zur Strahlformung (2), und ein Objekt (3), wobei der geformte Strahl in mindestens einer Koordinate (X, Y,  $\omega$ ) so zum Objekt (3) relativ bewegt wird, daß der geformte Strahl die Oberfläche des Objektes (3) in einer zeitlich definierten Weise überstreicht und dabei die Oberfläche des Objektes (3) eine örtlich unterschiedliche Strahlendosis erhält, die zu einem Oberflächenprofil entwickelt wird.



DE 43 33 620 A 1

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Erzeugung von Dosisprofilen für die Herstellung von Oberflächenprofilen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zur Erzeugung von Dosisprofilen für die Herstellung von Oberflächenprofilen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 16.

Die Erfindung dient insbesondere zur fotolithographischen Strukturierung von Objektoberflächen mit dem Ziel, Mikrolinsen herzustellen.

Bekannt sind Vorrichtungen und Verfahren, die die Technik des Einschreibens variabler Dosiswerte zur Erzeugung von Oberflächenprofilen für die Elektronenstrahlolithografie und für die Fotolithografie nutzen [T. Fujita, H. Nishihara, J. Kayama: Blazed gratings and Fresnellenses fabricated by electron-beam lithography. Opt. Lett. 7 (1982) 12, p. 578; M. Haruna, M. Takahishi, K. Wakahayashi, H. Nishihara: Laser beam lithographed mikro-Fresnellenses. Applied Optics/Vol. 29, No. 34/1 December 1990]. Fig. 12 zeigt schematisch die Technologie. Ein zum Beispiel mit einem elektronenempfindlichen Resist (hier Positivresist) beschichtetes Substrat wird so mit örtlich verschiedenen Elektronendosiswerten bestrahlt, daß die Entwicklung der nun unterschiedlich löslichen Bereiche des Resistes zu einem bestimmten Zeitpunkt das gewünschte Oberflächenprofil erzeugt.

Problematisch ist jedoch der hohe technische Aufwand für dieses Verfahren, da die bisher eingesetzten Anlagen Elektronenstrahlschreiber oder Laser-Patterngeneratoren sind, die körperlich groß und sehr kostspielig (Millionen DM) sind. Außerdem sind für ausgedehnte Oberflächenprofile sehr lange Bearbeitungszeiten notwendig.

Die damit erzeugbaren Oberflächenprofile werden zwangsläufig auch sehr teuer. Speziell die Herstellung von Mikrolinsen und Mikrolinsenarrays verursacht einen hohen Zeitaufwand. Weiterhin sind die zum Schreiben der erforderlichen Dosisprofile notwendigen Datenmengen teilweise enorm, was eine entsprechend aufwendige Rechentechnik verlangt.

Ziel der Erfindung ist die Schaffung eines einfachen, leistungsfähigen und kostengünstigen Verfahrens, einschließlich einer vergleichsweise preiswerten Anordnung zur Durchführung dieses Verfahrens, mit denen Dosisprofile für die Herstellung von Oberflächenprofilen, insbesondere für Mikrolinsen, erzeugbar sind.

Die Lösung der Aufgabe erfolgt durch die Anordnung erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1. Die Lösung der Aufgabe erfolgt durch das Verfahren erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 16.

Oberflächenprofile, die vorzugsweise denen von Mikrolinsen entsprechen, werden dadurch erzeugt, daß ein geformter Strahlungsfleck, der während des Schreibens der variablen Dosis eine feste Form besitzt und durch seine Form und seine Bewegung auf dem strahlungsempfindlichen Objekt Strahlendosiswerte ortsabhängig in die Oberfläche des Objektes einbringt. Dabei ist im wesentlichen die Form des Fleckes für das Dosisprofil entscheidend, die Bewegung realisiert im wesentlichen einen Dosisfaktor, der im allgemeinen konstant sein sollte. Die Form des Strahles kann beispielsweise durch die Abbildung einer geeignet geformten Blende erzeugt werden. Ebenso ist die Abbildung eines auf einem Bildschirm erzeugten Bildes in die Ebene des strahlungsempfindlichen Objektes möglich.

Durch einen zu realisierenden linearen bzw. nahezu linearen Zusammenhang zwischen Dosis und entwickelter Tiefe ergibt sich bei homogener Ausstrahlung des Fleckes und konstanter geradliniger Bewegung nach der Entwicklung des Resistes eine Profilform, die der Flecklänge in Bewegungsrichtung entspricht. Setzt man eine Fleckform mit einem Linsenprofil ein, das quer zur Bewegungsrichtung liegt, ergibt sich nach der Entwicklung ein Linsenprofil quer zur Bewegungsrichtung, welches eine Zylinderlinse ist. Überkreuzt man zwei solche Belichtungen orthogonal, ergibt sich im Kreuzungsreich ein entwickelbares Dosisprofil, das einer radialen Linse entspricht.

Die Strahlendosis ist proportional der Einwirkzeit und die ist abhängig von der Geschwindigkeit, mit der der geformte Strahl über die Oberfläche des Objektes geführt wird. Es erfolgt entweder eine Bewegung des geformten Strahles über das feststehende Objekt oder eine Bewegung des Objektes unter dem geformten, feststehenden Strahl oder eine Kombination beider Möglichkeiten. Die Formung des Strahles erfolgt entweder in der Quelle selbst oder durch eine Blende. Bei einer Blende ist die Strahlendosis an verschiedenen Orten der Oberfläche des Objektes von der Form der Blende abhängig. Durch eine Entwicklung wird durch das Profil der Strahlenintensität in der Oberfläche des Objektes ein Tiefenprofil erzeugt.

Die Anordnung zur Erzeugung von Dosisprofilen für die Herstellung von Oberflächenprofilen für Mikrolinsen besteht aus in Strahlrichtung nacheinander angeordneten Elementen: einer Strahlenquelle, einer Einrichtung zur Strahlformung und einem Objekt. Der geformte Strahl wird in mindestens einer Koordinate X, Y,  $\omega$  so zum Objekt relativ bewegt, daß der geformte Strahl die Oberfläche des Objektes in einer zeitlich definierten Weise überstreicht und dabei die Oberfläche des Objektes eine örtlich unterschiedliche Strahlendosis erhält.

Die Strahlenquelle ist in Abhängigkeit vom Anwendungsfall eine Lichtquelle oder Röntgenstrahlenquelle oder Elektronenquelle oder Ionenquelle.

Die Strahlung der Quelle ist vorzugsweise über die bestrahlte Fläche homogen und wird durch die Einrichtung zur Strahlformung in einen oder in mehrere geformte Teilstrahlen gebracht. Es ist jedoch auch eine inhomogene Intensitätsverteilung der Strahlenquelle oder des geformten Strahles möglich, deren Inhomogenität zur Erzielung gleichmäßiger Arbeitsergebnisse einen definierten Verlauf hat.

Der im Querschnitt zur Strahlrichtung geformte Strahl definierter Intensität wird auf die Oberfläche eines Objektes gerichtet und der Strahl wird zeitabhängig in mindestens einer Raumrichtung relativ zur Oberfläche des Objektes bewegt. Dabei erhält die Oberfläche des Objektes eine örtlich unterschiedliche Strahlendosis. Es wird ein Strahlendosisprofil gebildet und dadurch eine Struktur in die Oberfläche des Objektes direkt oder durch einen nachfolgenden Entwicklungsprozeß eingebracht. Die Einrichtung zur Strahlformung sollte vorzugsweise mit parallelen Strahlen beschickt werden, oder vor der Einrichtung zur Strahlformung werden die Strahlen parallelisiert, zum Beispiel durch einen Kondensor.

Die Einrichtung zur Strahlformung ist im einfachsten Fall eine einzelne Blende. Sie kann auch ein Bildschirm sein, der die Strahlform direkt projiziert.

Insbesondere bei Licht- oder Elektronen- oder Ionenstrahlen kann zwischen der Einrichtung zur Strahlfor-

mung und dem Objekt eine abbildende Einrichtung angeordnet sein, beispielsweise ein Objektiv. Das Objektiv bildet den geformten Strahl scharf auf der Oberfläche des Objektes ab.

Die Abbildung des geformten Strahles kann aber auch vorzugsweise in der Richtung der relativen Bewegung des geformten Strahles unscharf erfolgen. Dadurch verringern sich die Anforderungen an die Genauigkeit und die Größe der relativen Bewegung. Die unscharfe Abbildung erfolgt beispielsweise durch eine Zylinderlinse.

Insbesondere bei Röntgenstrahlen erfolgt eine direkte Abbildung der Blende durch Schattenprojektion.

Die einzelne Blende hat vorzugsweise eine Form, die symmetrisch oder unsymmetrisch an einer Basis ausgerichtet ist, wobei auf der Basis die Anfangs- und die Endpunkte der Kurvenverläufe liegen. Die Blende wird in der Vorrichtung nach ihrer Basis ausgerichtet. Vorzugsweise so, daß bei einer relativen Bewegung des geformten Strahles über das Objekt in Y-Richtung die Basis in der X-Richtung ausgerichtet ist. Die Blende kann in die Einrichtung zur Strahlformung fest eingebaut sein oder sie ist auswechselbar. Ihre Form und/oder Größe kann durch an der Blende angeordnete Einstellschieber geändert werden.

Die Blende kann auch als Vielfach-Blende ausgebildet sein, die aus einer matrixförmigen Anordnung einzelner Blenden besteht, deren Basen vorzugsweise eine gleiche Ausrichtung (zum Beispiel nach der X'-Richtung) haben. Variationsmöglichkeiten sind dadurch gegeben, daß eine periodische und/oder eine nichtperiodische Anordnung der einzelnen Blenden erfolgt und/oder gleiche und/oder ungleiche Formen der einzelnen Blenden und/oder gleiche und/oder ungleiche Größen der einzelnen Blenden zu der Vielfach-Blende zusammengestellt werden. Zur Erzeugung der Bewegung des geformten Strahles sind die einzelne Blende oder die Vielfach-Blende bewegbar angeordnet. Die Bewegung insbesondere der Vielfach-Blende in X'-Richtung und/oder in Y'-Richtung erfolgt vorzugsweise mit Hilfe von an der Vielfach-Blende mechanisch gekoppelten Piezo-Aktuatoren. Gleichmaßen kann auch das Objekt bei einer Belichtung durch eine Vielfach-Maske bewegt werden.

Die Doseinbringung durch die Vielfach-Blende erfolgt durch eine Bewegung der Vielfach-Blende oder des Objektes um einen Weg in der Größenordnung der Strukturabmessungen der einzelnen Blenden in einer Richtung oder in mehreren Richtungen, vorzugsweise in der X- und/oder der Y-Richtung mit der Geschwindigkeit  $v$ . Es kann ein in Bewegungsrichtung gleichmäßiges Profil geschrieben werden. Mit Hilfe der Vielfach-Blende erfolgt eine parallele Herstellung von vielen einzelnen Profilen.

In einem Fall ist das Objekt durch einen Positioniertisch unter dem feststehenden geformten Strahl in X-Richtung und/oder in Y-Richtung und/oder um den Drehwinkel ( $\omega$ ) bewegbar. Vorzugsweise erfolgt eine Bestrahlung des Objektes durch mindestens einen Bestrahlungszyklus in einer dem Objekt zugeordneten Raumrichtung oder Drehrichtung. Dabei ist die Form des Strahles vorzugsweise so, daß orthogonal zu der jeweiligen relativen Bewegung eine Basis des geformten Strahles verläuft. Ausgehend von den Endpunkten der Basis hat der geformte Strahl eine Kontur, die zu der Basis symmetrischen oder unsymmetrischen Flächegebilden entspricht.

Die Strahlform kann beliebig sein. Für die Herstellung von Mikrolinsen werden vorzugsweise parabolför-

mige Strahlformen und Strahlformen mit fresnelscher Struktur verwendet. Eine Aufteilung der Strahlform beidseitig zur Basis bringt bei translatorischen Bewegungen den Vorteil, daß Ungenauigkeiten, insbesondere Verkippungen, besser kompensiert werden.

In einem anderen Fall ist der geformte Strahl in X'-Richtung und/oder in Y'-Richtung und/oder um den Drehwinkel  $\omega$  über das feststehende Objekt bewegbar. Die relativen Bewegungen zwischen dem Objekt und dem geformten Strahl können zwischen dem Positioniertisch und der Einrichtung zur Strahlformung aufgeteilt werden.

Beispielsweise wird der Positioniertisch in Y-Richtung bewegt und die einzelne Blende wird gedreht; oder es wird die Vielfach-Blende in Y'-Richtung bewegt und der Positioniertisch wird gedreht.

Zur Herstellung von Mikrolinsen und Mikrolinsenarrays trägt das Objekt auf seiner Oberfläche einen zu strukturierenden Resist, der nach der Bestrahlung entwickelt wird. Bei einem selbst strahlenempfindlichen Objekt wird das Oberflächenprofil in die Oberfläche des Objektes hinein entwickelt. Das Objekt kann auch durch Profilätzen direkt profiliert werden. Die Strahlenquelle arbeitet eine Struktur unmittelbar in das Material ein (zum Beispiel durch Ionenstrahlätzen).

Die Größe und/oder Form des geformten Strahles kann vorzugsweise durch eine Wahl der Blende, bei verschiedenen Bestrahlungen an einem Objekt verschieden ausgewählt und ausgerichtet werden. Durch die Bestrahlung des Objektes durch mindestens zwei Bestrahlungszyklen in je einer verschiedenen beliebigen Richtung in der X-Y-Ebene überlagern sich die einzelnen Strahlendosiswerte und nahezu beliebige Oberflächenprofile können mit vergleichsweise geringem Aufwand hergestellt werden. Wirken mehrere Bestrahlungen mit Linsenprofilen parallel nebeneinander oder gekreuzt, vorzugsweise mäanderförmig oder mäanderförmig gekreuzt auf die Oberfläche des Objektes ein, entstehen Linsenarrays vergleichsweise kostengünstig (direkt oder nach Entwicklung des Profils).

Die Gleichmäßigkeit der Profile kann verbessert oder die Anforderungen an die Gleichmäßigkeit und Größe der relativen Bewegung können verringert werden, wenn in Bewegungsrichtung der Relativbewegung eine unscharfe Abbildung der Blende auf dem Objekt erfolgt. Die unscharfe Abbildung erfolgt beispielsweise durch eine Zylinderlinse. Durch die unscharfe Abbildung des Blendenbildes kann die Größe der relativen Strahlbewegung im Extremfall bis zu Null verringert werden. Die Erfindung soll anhand von Figuren erläutert werden.

Es zeigen:

Fig. 1 Prinzip der Anordnung zur Herstellung von Oberflächenprofilen,

Fig. 2 Anordnung zur seriellen Herstellung von Oberflächenprofilen,

Fig. 3 Beispiele von Blendengeometrien als einfache Blende und als Vielfach-Blende,

Fig. 4 parabolische Blenden und damit erzeugte Strukturen,

Fig. 5 Fresnel-Blenden und damit erzeugte Strukturen,

Fig. 6 keilförmige Blende und damit erzeugte Strukturen,

Fig. 7 dreieckförmige Blende und damit erzeugte Strukturen,

Fig. 8 Blenden mit variabler Geometrie,

Fig. 9 Anordnung zur parallelen Herstellung von

Oberflächenprofilen,

Fig. 10 Anordnung zur Herstellung von runden Fresnel-Linsen,

Fig. 11 Ausschnitt einer runden Fresnel-Linse,

Fig. 12 Prinzip der Herstellung von Oberflächenprofilen mit variablen Dosiswerten,

Fig. 13 mäandrierförmige Bestrahlungen und damit erzeugte Strukturen.

Fig. 1 zeigt das Prinzip der Anordnung zur Herstellung von Oberflächenprofilen. Eine Strahlenquelle 1 sendet parallele Strahlen aus. Die Strahlen werden mit Hilfe einer Einrichtung zur Strahlformung 2 in ihrem Querschnitt geformt. Der geformte Lichtstrahl trifft auf die Oberfläche des Objektes 3. Während der Bestrahlung erfolgt eine Relativbewegung zwischen dem Objekt 3 und dem geformten Lichtstrahl. In Fig. 1 erfolgt die Bewegung des Objektes 3 in Y-Richtung, während die Einrichtung zur Strahlformung 2 feststeht. Die Einrichtung zur Strahlformung 2 ist im Beispiel eine Blende 7. Die Relativbewegung zwischen Objekt 3 und geformtem Lichtstrahl kann einerseits durch die Bewegung des Objektes 3 andererseits durch die Bewegung des geformten Strahles erreicht werden. Der geformte Lichtstrahl schreibt auf die Oberfläche des Objektes 3 das Dosisprofil einer Linse. Die Oberflächenschicht des Objektes 3 ist strahlenempfindlich oder sie wird direkt abgetragen. Der geformte Strahl belichtet die Oberfläche des Objektes in unterschiedlicher Stärke in X-Richtung. Durch einen direkten Materialabtrag oder durch eine Entwicklung des strahlenempfindlichen Objektes 3 wird das Oberflächenprofil erzeugt. Es ist eine Bewegung des Objektes in X- und Y-Richtung und/oder eine Bewegung der Einrichtung zur Strahlformung in X'- oder Y'-Richtung möglich. Weiterhin können das Objekt 3 oder die Einrichtung zur Strahlformung um die Z-Achse um den Drehwinkel  $\omega$  gedreht werden.

Fig. 2 stellt eine Anordnung zur seriellen Herstellung von Oberflächenprofilen mittels Lichtstrahlen in einem Fotoresist dar. Gemäß Fig. 2 sind in Lichtrichtung eine Lichtquelle 1, ein Kondensor, eine Blende 7, ein Objektiv 5 für die Abbildung der Blende und die Oberfläche eines Objektes 3 angeordnet. Auf der Oberfläche des Objektes 3 ist eine Resistschicht 6 aufgebracht, die belichtet wird. Nach dem Belichten in einem oder in mehreren Belichtungszyklen erfolgt das Entwickeln der Struktur in die Oberfläche des Resistes 6 hinein.

Das die Resistschicht 6 tragende Objekt 3 ist auf einem Positioniertisch 4 aufgespannt. Der Positioniertisch ist in X- und Y-Richtung bewegbar. Die Blende 7 ist um die Z-Achse um den Winkel  $\omega$  drehbar. Die Blende 7 hat bei Bewegung des Objektes in X-Richtung eine vorgegebene Winkelstellung und die Blende 7 hat bei Bewegung in Y-Richtung eine andere Winkelstellung. Vorzugsweise ist die Winkelstellung bei Bewegung in X-Richtung Null Grad und die Blendenstellung bei Bewegung in Y-Richtung 90 Grad. Zur Abbildung der Blende auf dem Objekt 3 ist vorzugsweise das Objektiv 5 vorgesehen. Es ist jedoch wie in Fig. 1 dargestellt auch eine Schattenbelichtung möglich. Durch kreuzweise Mäandrierung entsteht das Dosisprofil für ein Linsenarray.

Fig. 3a stellt das Bild einer einzelnen Blende 7 dar. Das Beispiel zeigt eine parabolische Blendenform. Die Basis 10 verläuft in X'-Richtung und die Parabel verläuft ausgehend von den Endpunkten der Basis 10 in Y'-Richtung. Die Strahlendosis ist proportional der Bestrahlungszeit  $t$  und die ist abhängig von der Geschwindigkeit  $v$  (vorzugsweise konstant) in Y-Richtung, mit der

die Abbildung der Blende 7 über die Oberfläche des Objektes 3 geführt wird:

$$t(X') = b(X')/v$$

Die Breite  $b$  der Blende 1 ist an verschiedenen Orten  $X'$  unterschiedlich oder verschieden einstellbar. Am Ort  $X'_1$  hat die Blendenöffnung die Breite  $b_1$ .

Die Breite  $b$  bestimmt die Strahlendosis, die bei der relativen Bewegung des Bildes der Blende 7 mit der Geschwindigkeit  $v$  über die gesamte Länge des Verfahrweges des Objektes 3 in Y-Richtung in seine Oberfläche einwirkt. An den Schnittpunkten der Parabel mit der Basis ist die Strahlendosis, die auf das Objekt gelangt, gleich Null. Die Bewegungsrichtung des geformten Strahles erfolgt in Fig. 3 in Y-Richtung (oder in Y'-Richtung) mit der Geschwindigkeit  $v$ .

Zur Erzielung einer gleichmäßigen und definierten Strukturtiefe sind die räumliche Verteilung und die zeitliche Stärke der Strahlen aus der Strahlenquelle und die Geschwindigkeit  $v$  gleichmäßig. Im Ergebnis der Bestrahlung wird im Objekt 3 ein Dosisprofil in X-Richtung entlang der Y-Richtung erhalten. Fig. 3b zeigt eine einfache Blende, die beidseitig zur Basis eine Ausdehnung hat. Die Basis 10 verläuft in X'-Richtung und die Parabel verläuft ausgehend von den Endpunkten der Basis 10 in Y'-Richtung und entgegen der Y'-Richtung. Im Beispiel sind die Parabeln nicht spiegelsymmetrisch. Mit dieser Blende werden gleiche Dosisprofile wie mit der in Fig. 3a erzeugt. Vorteil der Aufteilung der Blendengeometrie auf beide Seiten der Basis ist die größere Unabhängigkeit der Anordnung gegenüber Verkippungen in Bewegungsrichtung. Fig. 3c zeigt eine Vielfach-Blende 8, die aus einer matrixförmigen Anordnung von einzelnen Blenden 7 besteht. Die Abbildung dieser Vielfach-Blende 8 wird ebenfalls relativ zum Objekt 3 mit einer Geschwindigkeit  $v$  bewegt. Die Bewegungslänge erfolgt jedoch vorzugsweise nur in der Größenordnung der Strukturbreite  $b$  der einzelnen Blende 7. Im Ergebnis der Bestrahlung werden im Objekt 3 zeitlich parallel erzeugte, nebeneinander parallel zur Y-Achse liegende Dosisprofile erhalten.

Die Vielfach-Blende 8 hat beispielsweise die Abmessungen  $50 \times 50$  mm und enthält 10 000 Einzel-Blenden 7 mit Abmessungen in X'-Richtung von  $500 \mu\text{m}$  und in Y'-Richtung von  $250 \mu\text{m}$ . Die Belichtung des Objektes erfolgt durch Schattenprojektion mit kollimiertem Licht. Während der Belichtung wird die Blende um kleine Wege in mindestens einer Richtung bewegt. Dieses Vorgehen erzeugt in einem Prozeß auf der gesamten Oberfläche des Objektes ein Dosisprofil, das zu einem Tiefenprofil entsprechender Zylinderlinsen entwickelt wird.

Werden zwei solcher Belichtungsverfahren orthogonal zueinander vorgenommen, entsteht das Dosisprofil für ein Linsenarray. Vorteile entstehen bei der Verwendung von Röntgenstrahlen durch die parallele Belichtung und damit kürzeren Gesamtbelichtungszeiten. Mit der Vorgehensweise ist die kostengünstige Herstellung von Riesenarrays möglich.

Fig. 4 zeigt parabelförmige Blenden und damit erzeugte Strukturen in einem Positivresist. Fig. 4a stellt eine Blende dar, die einem Parabelabschnitt entspricht. Bei der relativen Bewegung des geformten Strahles in der Parabelrichtung entsteht im Ergebnis eine konkave Zylinderlinse in einem Positivresist gemäß Fig. 4b. Bei der Wiederholung der entsprechenden Vorgehensweise in der dazu orthogonalen Richtung entsteht eine zur

ersten Linse orthogonale Linse. Die orthogonale Überlagerung der beiden oben beschriebenen Belichtungen ergibt im Kreuzungsbereich der Belichtungen im Ergebnis eine radiale konkave Linse gemäß Fig. 4c. Das Negativ der Blende in Fig. 4a ist in Fig. 4d dargestellt. Fig. 4d stellt eine Blende dar, die einem negativen Parabelabschnitt entspricht.

Bei der relativen Bewegung des geformten Strahles in der Parabelrichtung entsteht eine im Ergebnis konvexe Zylinderlinse in einem Positivresist gemäß Fig. 4e. Bei der Wiederholung der entsprechenden Vorgehensweise in der dazu orthogonale Richtung entsteht eine zur ersten Linse orthogonale Linse. Die orthogonale Überlagerung der beiden oben beschriebenen Belichtungen ergibt im Kreuzungsbereich der Belichtungen im Ergebnis eine radiale konvexe Linse gemäß Fig. 4f. Die Geschwindigkeit  $v$  legt bei konstanter Strahlstärke die Brennweiten der jeweiligen Zylinderlinse, radialen Linse oder der Komponenten der elliptischen Linse fest. Ist der Winkel zwischen 2 Belichtungen ungleich 90 Grad werden "verschobene" Abarten hergestellt.

Fig. 5 zeigt Strukturen, die mit Blenden nach der fresnelschen Art hergestellt wurden. In Fig. 5a ist eine Blende dargestellt, die das Dosisprofil für eine konkave Fresnel-Zylinderlinse gemäß Fig. 5b erzeugt, wenn die Bestrahlung in einer Richtung erfolgt.

Fig. 5c zeigt eine Fresnel-Linse, bei der in X- und in Y-Richtung mit einer Blende gemäß Fig. 5a belichtet wurde. Diese Linse ist eine konkave Linse nach Kley (DE-P-43 14 574.4). Die Fig. 5d stellt das Negativ der Blende gemäß Fig. 5a dar. Bei Belichtung mit dieser Blende in einer Richtung erhält man das Dosisprofil für eine konvexe Fresnel-Zylinderlinse gemäß Fig. 5e. Bei Belichtung in X- und in Y-Richtung wird das Dosisprofil für eine konvexe Linse nach Kley (DE-P-43 14 574.4) gemäß Fig. 5f erhalten.

Es sind beliebige Blendenformen vorstellbar. Beispielsweise zeigt Fig. 6 eine keilförmige Blende und die durch ihre Verwendung erzeugbaren Profile: Keilprofil in Fig. 6b; gedrehtes Keilprofil in Fig. 6c.

Fig. 7 zeigt eine dreieckförmige Blende und die durch ihre Verwendung erzeugbaren Profile: Dreieckprofil in Fig. 7b; Pyramidenprofil in Fig. 7c.

In Fig. 8 sind Blenden mit einstellbarer Geometrie dargestellt. Gemäß Fig. 8a ist ein Einstellschieber 9 vorgesehen, der so bewegbar ist, daß die Basisbreite der parabolischen Blende 7 verkleinert oder vergrößert werden kann. Gemäß Fig. 8b sind 2 Einstellschieber 9 so angeordnet, daß die Strukturbreite der Blende 7 mit fresnelscher Struktur variierbar ist. Damit sind Linsen unterschiedlich großer Geometrie einfach herstellbar. Die Verstellung dient der Automation und kann auch während eines Belichtungsvorganges erfolgen, um Strukturbreiten zu variieren.

Fig. 9 zeigt eine Anordnung zur parallelen Herstellung von Oberflächenprofilen mit einer Blende gemäß Fig. 3b. Im Prinzip entspricht diese Anordnung der Anordnung wie sie in Fig. 1 dargestellt ist. Eine Strahlenquelle 1 beleuchtet eine Einrichtung zur Strahlformung 2, die hier eine Vielfach-Blende 8 ist. Die Vielfach-Blende 8 enthält eine Matrix von einzelnen Blenden 7, die hier gleiche Abmessungen und gleiche Form haben. Die Vielfach-Blende 8 erzeugt vielfach geformte Einzelstrahlen, die auf die Oberfläche des Objektes 3 auftreffen. Durch relative Bewegung der Vielfach-Blende 7 in der Größenordnung der Strukturbreite der Einzelblende 7 in Y'-Richtung mit der Geschwindigkeit  $v$  in Y-Richtung wird ein Dosisprofil für Zylinderlinsen er-

zeugt. An den Rändern der Einzelblende 7 ist die Strahlendosis gleich Null und im Maximum der Parab 1 der Einzelblende 7 hat die auf das Objekt gelangende Strahlendosis ihr Maximum. Mit einer derartigen Anordnung werden große Flächen mit einem Belichtungsvorgang belichtet. Erfolgt die Belichtung mit der Ausrichtung wie in Fig. 9 dargestellt, daß die Basis der Einzelblenden in X'-Richtung verläuft, werden Dosisprofile für zylindrische Linsen erhalten. Nach einer Drehung des Objektes 3 oder der Vielfach-Blende 7, um beispielsweise 90 Grad und Wiederholung des Belichtungsvorganges erhält man beispielsweise ein Dosisprofil für ein matrixförmiges Array von Linsen. Die relative Bewegung der Blende erfordert relativ kleine Wege, die vorzugsweise durch einen Piezo-Aktuator (nicht dargestellt), der an die Blende angekoppelt ist, erzeugt werden. Der Piezo-Aktuator liefert gut steuerbare (beispielsweise oszillierende) Bewegungen der Vielfach-Blende 8.

Fig. 10 zeigt eine Anordnung zur Herstellung von Dosisprofilen für runde Fresnel-Linsen. Diese Anordnung entspricht in ihrem Prinzip dem Aufbau nach Fig. 1. Eine Strahlenquelle 1 beleuchtet die Einrichtung zur Strahlformung 2, die hier eine Blende 7 ist, welche eine fresnelsche Struktur enthält.

Ein geformter Lichtstrahl gelangt auf das Objekt 3. Das Objekt 3 wird relativ zur Blende 7 um 360 Grad oder mehr gedreht, um das Dosisprofil für eine runde Fresnel-Linse zu erhalten.

Fig. 11 zeigt einen Ausschnitt aus der Oberfläche einer Fresnel-Linse, die nicht mechanisch hergestellt wurde und dadurch höhere optische Anforderungen erfüllt.

In Fig. 12 ist das Prinzip zur lithographischen Herstellung von Oberflächenprofilen mit variablen Dosiswerten dargestellt. Durch eine in X-Richtung unterschiedliche Bestrahlungsintensität des Resists 6 bildet sich beim Entwickeln des Resistes eine Entwicklungsfront heraus, die mit der Zeitdauer der Entwicklung voranschreitet und ein Oberflächenprofil im Resist erzeugt.

Fig. 13a stellt mäanderrörmige Belichtungen für Zylinderlinsen nach dem beschriebenen Verfahren prinzipiell dar. Fig. 13b zeigt das Dosisprofil für ein Zylinderlinsenarray in Mäanderrichtung. Mit überkreuzten Mäandербelichtungen entsprechend Fig. 13c werden Dosisprofile für Linsenarrays erhalten (Fig. 13d).

#### Bezugszeichenliste

- 1 Strahlenquelle
- 2 Einrichtung zur Strahlformung
- 3 Objekt
- 4 Positioniertisch (X-Y-Koordinaten- und Drehtisch)
- 5 Abbildende Einrichtung (Objektiv)
- 6 Resist
- 7 Blende
- 8 Vielfach-Blende
- 9 Einstellschieber
- 10 Basis
- X, Y, Z Objektkoordinatensystem
- X', Y', Z Blendenkoordinatensystem
- $v$  Geschwindigkeit der Bewegung des geformten Strahles auf dem Objekt/Geschwindigkeit der Blendenbewegung
- b Breite des geformten Strahles
- t Bestrahlungszeit
- $\omega$  Drehwinkel.

## Patentansprüche

1. Anordnung zur Erzeugung von Dosisprofilen für die Herstellung von Oberflächenprofilen, insbesondere zur fotolithographischen Strukturierung von Objektoberflächen, vorzugsweise für Mikrolinsen **dadurch gekennzeichnet**, daß in Strahlrichtung nacheinander folgende Baugruppen angeordnet sind:

- mindestens eine Strahlenquelle (1),
- mindestens eine Einrichtung zur Strahlformung (2) und,
- ein Objekt (3),

wobei der geformte Strahl in mindestens einer Koordinate (X, Y,  $\omega$ ) so zum Objekt (3) relativ bewegbar ist, daß der geformte Strahl die Oberfläche des Objektes (3) in einer zeitlich definierten Weise überstreicht und dabei die Oberfläche des Objektes (3) eine örtlich unterschiedliche Strahlendosis erhält.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlenquelle (1) vorzugsweise Licht oder Röntgenstrahlen oder Elektronen oder Ionen ausstrahlt.

3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung der Quelle eine homogene oder eine inhomogene Intensitätsverteilung hat.

4. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Strahlformung (2) eine Blende (7) oder ein Bildschirm ist.

5. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß insbesondere bei Licht- oder Elektronen- oder Ionenstrahlen zwischen der Einrichtung zur Strahlformung (2) und dem Objekt (3) eine abbildende Einrichtung (5) angeordnet ist, die den geformten Strahl scharf abbildet oder diesen vorzugsweise in der Richtung der relativen Bewegung, unscharf abbildet, insbesondere durch eine Zylinderlinse.

6. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildung des geformten Strahles durch Schattenprojektion erfolgt, insbesondere bei Röntgenstrahlen durch eine direkte Abbildung der Blende (7).

7. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Blende (7) eine einzelne Blende ist, deren Form symmetrisch oder unsymmetrisch an einer Basis (10) ausgerichtet ist, wobei die Basis (10) bei einer relativen Bewegung des geformten Strahles über das Objekt (3) in Y-Richtung vorzugsweise in der X-Richtung ausgerichtet ist.

8. Anordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Blende (7) eine Vielfach-Blende (8) ist.

9. Anordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine periodische und/oder eine nicht-periodische Anordnung der einzelnen Blenden (7) erfolgt und/oder gleiche und/oder ungleiche Formen der einzelnen Blenden (7) und/oder gleiche und/oder ungleiche Größen der einzelnen Blenden (7) zu der Vielfach-Blende zusammengestellt sind.

10. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt (3) durch einen Positioniertisch (4) unter dem feststehenden geformten Strahl in X'-Richtung und/oder in Y-Richtung und/oder um den Drehwinkel ( $\omega$ ) bewegbar ist.

11. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

daß der geformte Strahl in X'-Richtung und/oder in Y'-Richtung und/oder um den Drehwinkel ( $\omega$ ) über das feststehende Objekt (3) bewegbar ist.

12. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Blende (7) fest eingebaut ist oder auswechselbar ist und/oder in ihrer Form und/oder Größe durch an der Blende (7) angeordnete Einstellschieber (9) verstellbar ist.

13. Anordnung nach Anspruch 7 oder Anspruch 8 und Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung der Bewegung des geformten Strahles vorzugsweise die einzelne Blende (7) oder die Vielfach-Blende (8) bewegbar sind.

14. Anordnung nach Anspruch 10 oder Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewegung der Vielfach-Blende (8) in X'-Richtung und/oder in Y'-Richtung vorzugsweise mit Hilfe von an der Vielfach-Blende (8) mechanisch gekoppelten Piezo-Aktuatoren erfolgt oder eine gleiche Bewegung des Objektes (3) erfolgt.

15. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt (3) auf seiner Oberfläche einen zu strukturierenden Resist (11) trägt oder das Objekt (3) selbst mit den Strahlen reagiert (strahlungsempfindlich ist) und dann entwickelbar ist, oder das Objekt (3) durch Profilätzen direkt profilierbar ist.

16. Verfahren zur Erzeugung von Dosisprofilen für die Herstellung von Oberflächenprofilen insbesondere zur fotolithographischen Strukturierung von Objektoberflächen, vorzugsweise für Mikrolinsen, dadurch gekennzeichnet, daß ein im Querschnitt zur Strahlrichtung geformter Strahl definierter Stärke auf die Oberfläche eines Objektes (3) gerichtet wird und der Strahl zeitabhängig in mindestens einer Raumrichtung über die Oberfläche des Objektes (3) bewegt wird, dabei die Oberfläche des Objektes eine örtlich unterschiedliche Strahlendosis erhält und damit ein Strahlendosisprofil gebildet und dadurch eine Struktur in die Oberfläche des Objektes (3) eingebracht wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt (3) in X-Richtung und/oder in Y-Richtung unter dem feststehenden geformten Strahl bewegt wird und/oder das Objekt (3) um den Drehwinkel ( $\omega$ ) gedreht wird, vorzugsweise eine Bestrahlung des Objektes (3) durch mindestens einen Bestrahlungszyklus in einer dem Objekt zugeordneten Raumrichtung oder Drehrichtung erfolgt und die Form des Strahles vorzugsweise so ist, daß orthogonal zu der jeweiligen relativen Bewegung eine Basis (10) verläuft und ausgehend von den Endpunkten der Basis (10) zu dieser symmetrische oder unsymmetrische Flächengebilde erzeugt werden.

18. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der geformte Strahl in X'-Richtung und/oder in Y'-Richtung über die feststehende Oberfläche des Objektes (3) bewegt wird und/oder der geformte Strahl um den Drehwinkel ( $\omega$ ) gedreht wird.

19. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß auf die Oberfläche des Objektes (3) ein Resist (6) aufgebracht wird, welcher nach seiner Bestrahlung entwickelt wird und dadurch in der Oberfläche des Resistes (6) ein Profil erzeugt wird.

20. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß bei einem strahlungsempfindlichen Objekt (3) dieses direkt bestrahlt wird und in der Oberfläche des Objektes ein Profil direkt oder nach einem Entwicklungsprozeß erzeugt wird.

21. Verfahren nach Anspruch 17 und Anspruch 19 oder Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine parabelförmige Strahlform eingesetzt wird, deren Basis der X-Richtung entspricht eine Bewegung in Y-Richtung erfolgt und ein Zylinderlinse hergestellt wird, oder eine erste Bewegung in Y-Richtung erfolgt und nach Drehung des Objektes (3) um  $90^\circ$  eine zweite Bewegung in Y-Richtung erfolgt und eine radiale oder elliptische Linse hergestellt wird.

22. Verfahren nach Anspruch 17 und Anspruch 19 oder Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine Strahlform eingesetzt wird, die einem Fresnel-Linsenprofil entspricht, eine Bewegung in Y-Richtung erfolgt und eine Fresnel-Zylinderlinse hergestellt wird, oder eine erste Bewegung in Y-Richtung erfolgt und nach Drehung des Objektes (3) um  $90^\circ$  eine zweite Bewegung in Y-Richtung erfolgt und eine radial oder elliptisch wirkende Linse nach Kley (DE-P 43 14 574.4) hergestellt wird.

23. Verfahren nach Anspruch 17 und Anspruch 19 oder Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine keilförmige Strahlform eingesetzt wird, eine Bewegung in Y-Richtung erfolgt und ein Keilprofil hergestellt wird, oder eine erste Bewegung in Y-Richtung erfolgt und nach Drehung des Objektes (3) um  $90^\circ$  eine zweite Bewegung in Y-Richtung erfolgt und ein gedrehtes Keilprofil hergestellt wird.

24. Verfahren nach Anspruch 17 und Anspruch 19 oder Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine dreieckförmige Strahlform eingesetzt wird, eine Bewegung in Y-Richtung erfolgt und ein Dreieckprofil hergestellt wird, oder eine erste Bewegung in Y-Richtung erfolgt und nach Drehung des Objektes (3) um  $90^\circ$  eine zweite Bewegung in Y-Richtung erfolgt und ein Pyramidenprofil hergestellt wird.

25. Verfahren nach Anspruch 17 und Anspruch 19 oder Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine Strahlform eingesetzt wird, die einem Fresnel-Linsenprofil entspricht, eine Bewegung um den Drehwinkel ( $\omega$ ) um  $360^\circ$  durchgeführt und eine klassische Fresnel-Linse hergestellt wird.

26. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahl durch eine Blende (7) geformt oder von einem Bildschirm ausgestrahlt wird.

27. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahl durch in der X'-Y'-Ebene matrixförmig angeordnete einzelne Blenden (7), die eine Vielfach-Blende (8) bilden, geformt wird.

28. Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlformung durch die Vielfach-Blende (8) erfolgt, die vorzugsweise um einen Weg in der Größenordnung der Strukturabmessungen der einzelnen Blenden (7) in einer Richtung oder in mehreren Richtungen in der X'-Y'-Ebene mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegt wird.

29. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Abmessungen und die Kontur der Blende (3) durch Einstellschieber (9) eingestellt werden.

30. Verfahren nach einem oder mehreren der vor-

hergehenden Ansprüche von 16 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt (3) feststeht und der geformte Strahl über das Objekt bewegt wird, insbesondere durch die Bewegung der Blende (7) in X'-Richtung und/oder Y'-Richtung und/oder die Drehung der Blende (7) um den Drehwinkel ( $\omega$ ).

31. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche von 16 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß die relativen Bewegungen zwischen dem Objekt (3) und dem geformten Strahl zwischen dem Positioniertisch (4) und der Einrichtung zur Strahlformung (2), vorzugsweise der einzelnen Blende (7) oder der Vielfach-Blende (8), aufgeteilt werden.

32. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche von 16 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestrahlung des Objektes (3) durch mindestens zwei Bestrahlungszyklen in je einer verschiedenen beliebigen Richtung in der X-Y-Ebene erfolgt, sich die einzelnen Strahlendosiswerte überlagern und nahezu beliebige Oberflächenprofile hergestellt werden.

33. Verfahren nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe und/oder Form des geformten Strahles, vorzugsweise durch eine Wahl der Blende (7), bei verschiedenen Bestrahlungszyklen an einem Objekt (3) verschieden ausgewählt und ausgerichtet werden, wobei die Ausrichtung vorzugsweise so erfolgt, daß bei einer Bewegung in Y-Richtung eine Basis (10) der Blende (7) in X-Richtung ausgerichtet wird.

34. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche von 16 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Bestrahlungen parallel nebeneinander oder gekreuzt, vorzugsweise mäanderförmig oder mäanderförmig gekreuzt, auf die Oberfläche des Objektes (3) erfolgen und Linsenarrays hergestellt werden.

35. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche von 16 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß

durch die abbildende Einrichtung (5) das Bild der Blende scharf auf der Oberfläche des Objektes (3) abgebildet wird oder

durch die abbildende Einrichtung (5) das Bild der Blende unscharf auf der Oberfläche des Objektes (3) abgebildet wird, insbesondere die unscharfe Abbildung in der Richtung der relativen Strahlbewegung erfolgt und die Anforderungen an die Größe und Qualität der Bewegung geringer werden, im Extremfall die notwendige relative Bewegung Null wird.

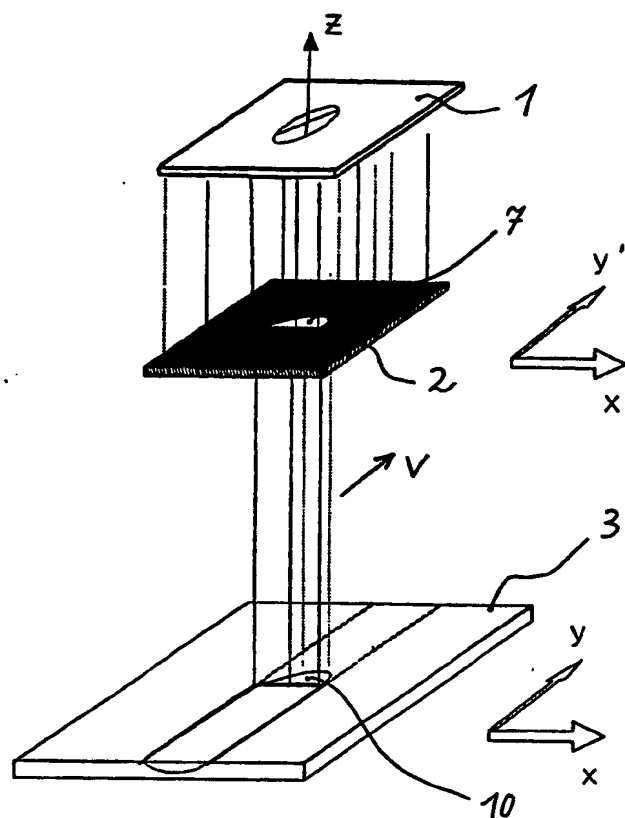
---

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

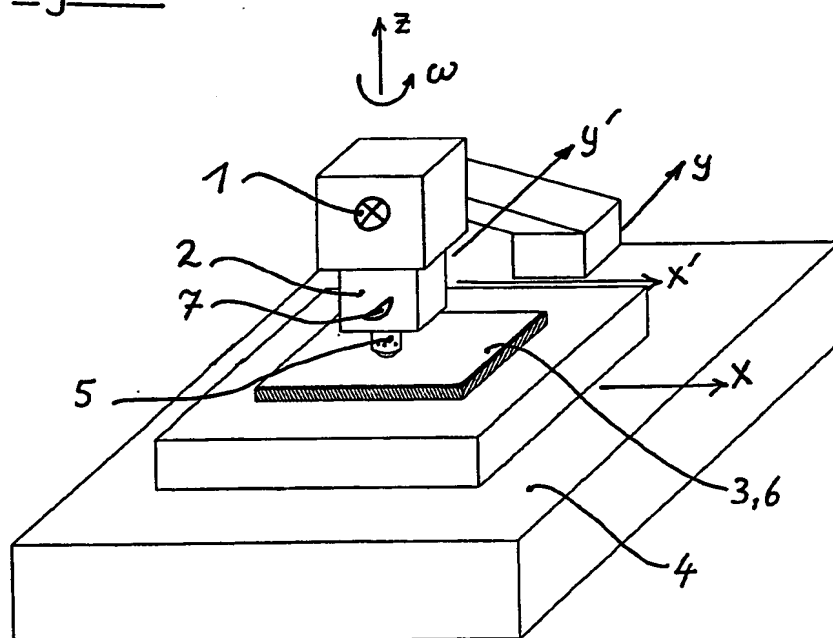
---

- Leerseite -



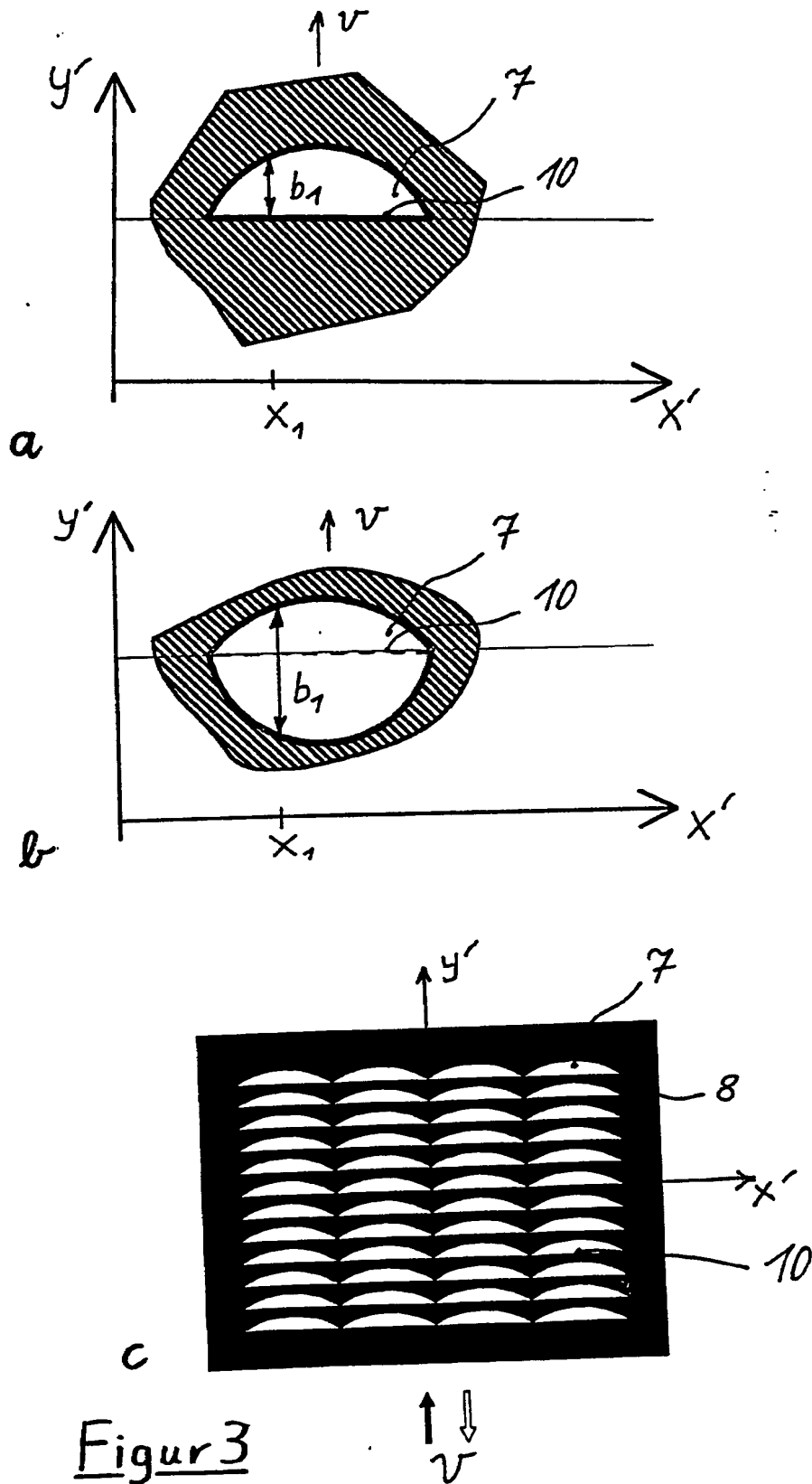


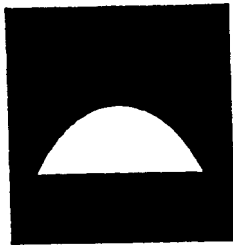
Figur 1



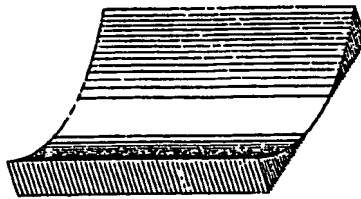
Figur 2

X

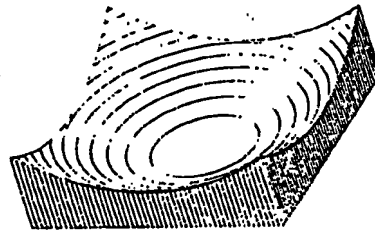




a



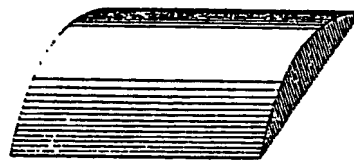
b



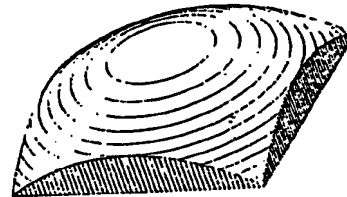
c



d

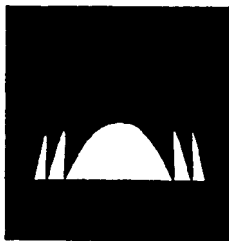


e

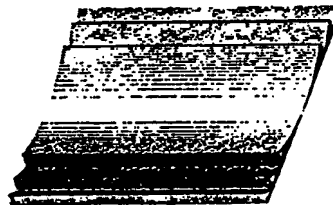


f

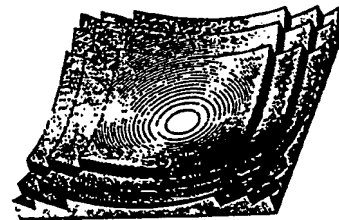
Figur 4



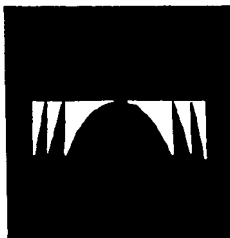
a



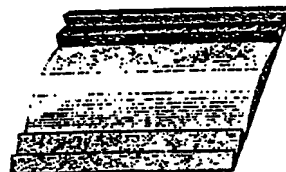
b



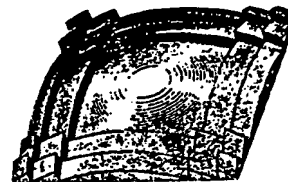
c



d

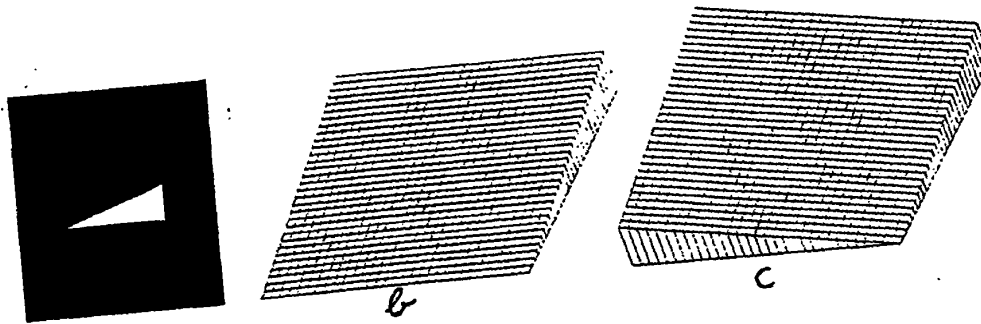


e

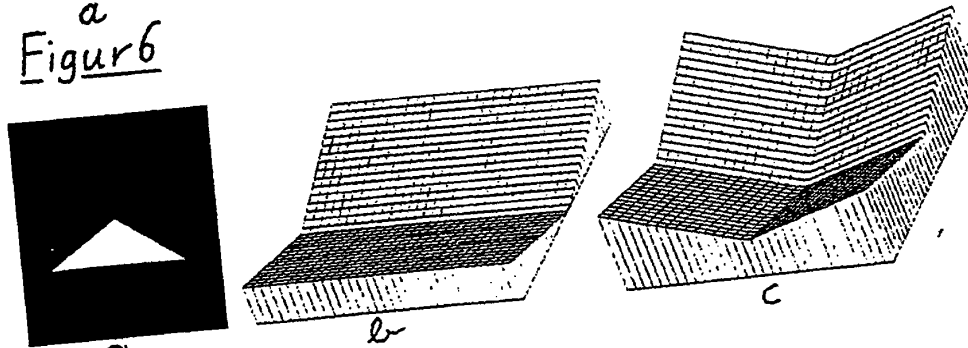


f

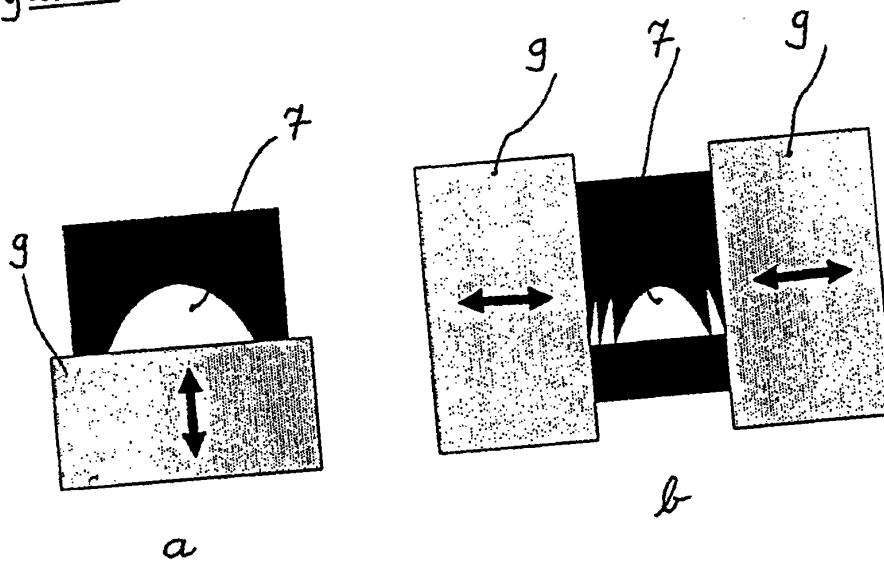
Figur 5



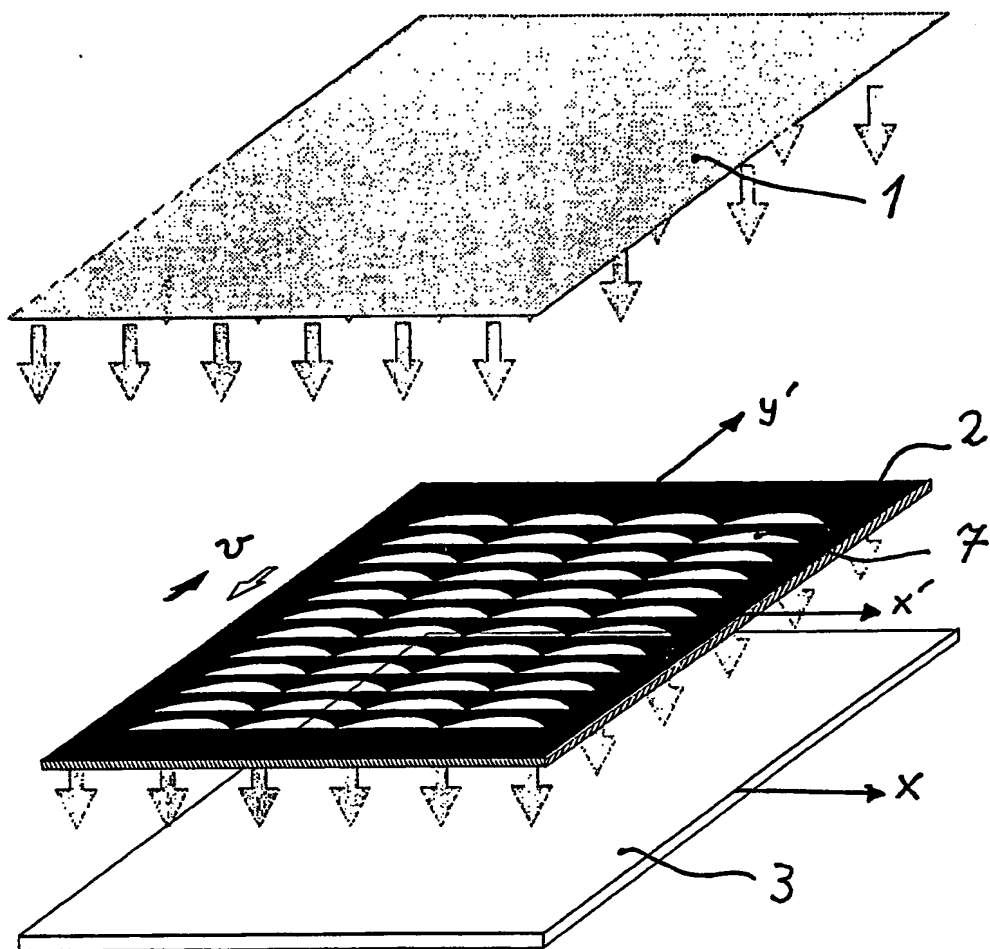
<sup>a</sup>  
Figur 6



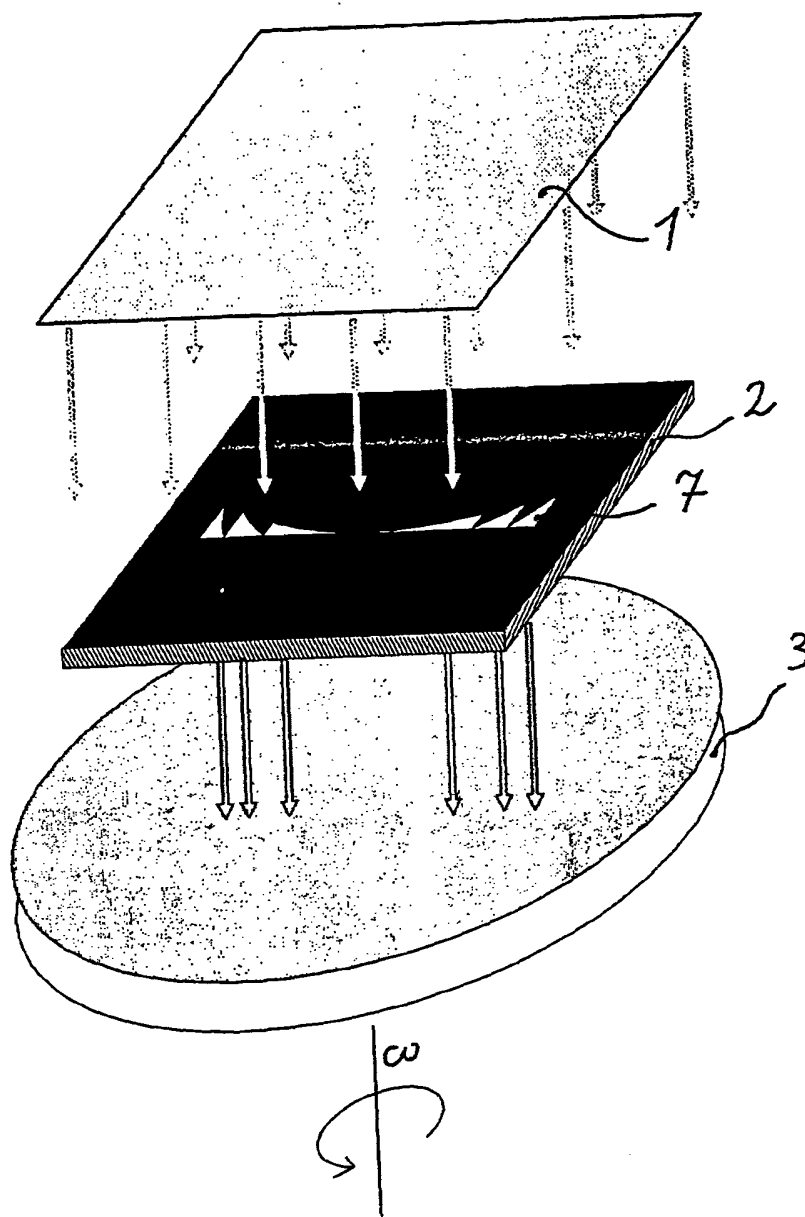
<sup>a</sup>  
Figur 7



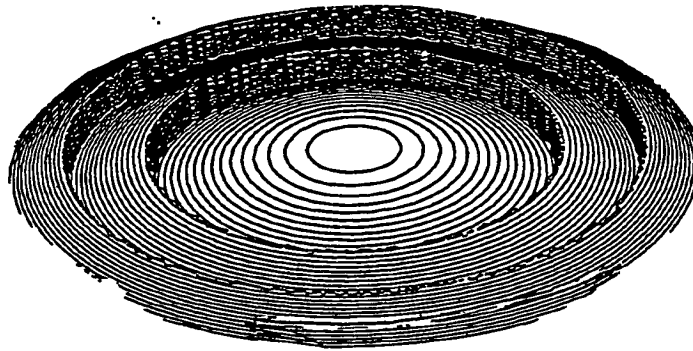
Figur 8



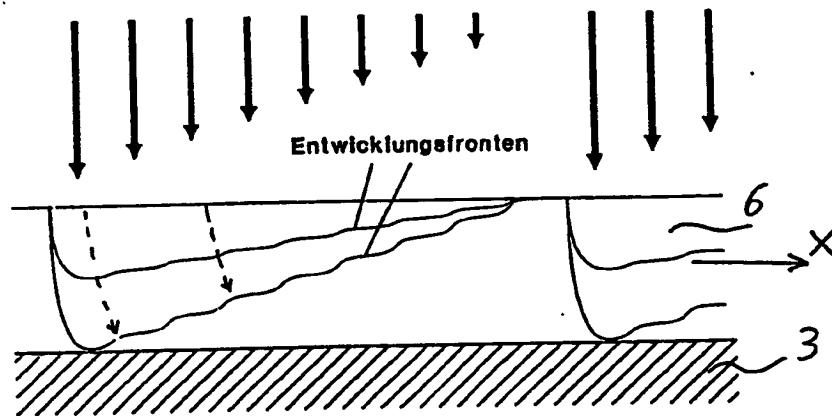
Figur 9



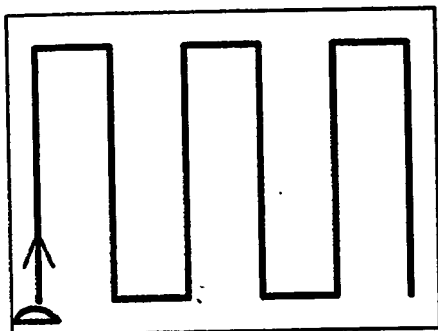
Figur 10



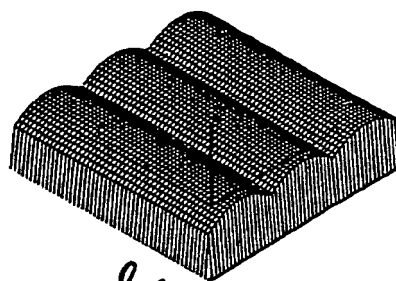
Figur 11



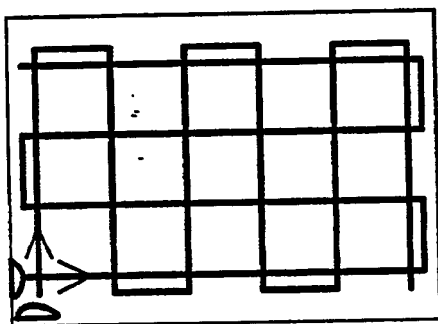
Figur 12



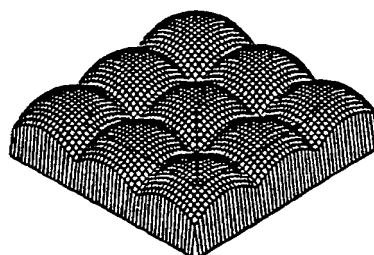
*a*



*b*



*c*



*d*

*Figur 13*